

**Всесоюзная
научно-техническая
конференция**

**МЕХАНИКА
И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Тезисы докладов

Волгоград 1989

П. Методы расчета изделий из композиционных материалов .	47
Ю.В.Немировский, А.В.Шульгин. Упругопластическое деформирование трехслойных оболочек из волокнистых композитов.	48
В.И.Самсонов. Метод расчета и рациональное проектирование композитных оболочек при кратковременных нагрузениях	51
С.Г.Мезенцев, Ю.В.Немировский. Особенности разрушения металлокерамических панелей.	53
П.Я.Носатенко, М.Н.Омельченко, Ю.Ю.Ширшов. Нелинейное деформирование и устойчивость оболочек из композитных материалов.	57
В.А.Котов, Е.Г.Кузовков, А.А.Тырымов, А.Г.Юр. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния изделий из металлических композитов, ослабленных отверстиями	60
Ф.Б.Бадалов, С.Бабажанова, Н.Ю.Хужаяров. Численно-аналитическое решение нелинейных динамических задач элементов тонкостенных конструкций из композитного материала.	64
Ф.Б.Бадалов, Х.Эшматов, У.Акбаров. Расчет деформирования вязкоупругих стержней из композитных материалов при динамических сжимающих нагрузках.	67
А.Б.Миткевич. О форме дниц баллонов давления из однонаправленных композитных материалов с малой сдвиговой жесткостью.	70
Н.Д.Панкратов, Б.К.Николаев. К расчету напряженного состояния армированных гибких сферических оболочек.	73
И.Г.Терегулов, Э.С.Сибгатуллин. Предельное состояние многослойных композитных пластин и оболочек при переменном нагружении	76
П.С.Белоусов, О.В.Абрамов, В.А.Черниченко. Оценка несущей способности по общей устойчивости металло-пластиковых цилиндрических оболочек сетчатых структур	79
Я.М.Григоренко, Н.Н.Крюков, Т.В.Крижановская. Нелинейное деформирование анизотропных оболочек вращения при осесимметричном нагружении.	82
Я.М.Григоренко, Т.Н.Килина. О влиянии структуры слоистых полых шаров на их динамические характеристики	85
А.Т.Васленко, П.И.Савченко. Решение задач статики составных армированных оболочек вращения в уточненной постановке.	88

УДК 539.3

НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Носатенко П.Я., Омельченко М.Н., Ширшов Ю.Ю.

(Московская обл.)

Оболочечные конструкции, выполненные из высокопрочных композитных материалов, в том числе металлических и металло-керамических, находят широкое применение в технике. Слоистая структура и анизотропия физико-механических свойств требуют использования новых уточненных подходов для расчета прочности и устойчивости таких упругих систем [1], разработки на их основе универсальных алгоритмов.

В настоящей работе предлагаются конечноэлементные методы решения пространственных задач геометрически нелинейной статики осесимметричных оболочек и некруговых цилиндров, а также анализа устойчивости оболочечных конструкций при термомеханическом нагружении с учетом для каждого слоя анизотропии общего вида.

Применяя метод конечных элементов в форме метода перемещений, сведем задачу термоупругости к решению системы нелинейных алгебраических уравнений

$$f(U) = [K_L + K_\varepsilon - K_T]U + k_N(U) - Q(\varepsilon_0, U_0, T, P_s, P_v) = 0 \quad (1)$$

методом Ньютона по рекуррентной зависимости

$$[K_L + \mu_n(K_\varepsilon - K_T + D(U^{[n]}))] U^{[n+1]} = Q - k_N(U^{[n]}) + D(U^{[n]}) U^{[n]}$$

$$U^{[0]} = 0; \mu_0 = 0; \mu_l = 1; l = 1, 2, \dots; [D_{ij}(U)] = [\partial k_{N_i}(U) / \partial U_j] \quad (2)$$

$$n = 0, 1, \dots, N: \|U^{[n]} - U^{[n-1]}\| < \delta$$

Здесь Q — вектор приведенных сил, K_L — линейная матрица жесткости; матрицы $K_\varepsilon(\varepsilon_0)$, $K_T(T)$ и вектор $k_N(U)$ обусловлены геометрической нелинейностью.

Вводя параметры нагружения $\lambda_\varepsilon, \lambda_U, \lambda_T, \lambda_s, \lambda_v$ и, следуя [2], рассмотрев полную вариацию (1), получаем, что

разрешимость (I) следует из разрешимости

$$[K_\epsilon + K_\epsilon - K_T + D(U)]\delta U = \left[\frac{\partial Q}{\partial \lambda_\epsilon} - \frac{\partial K_\epsilon}{\partial \lambda_\epsilon} U \right] \delta \lambda_\epsilon + \quad (3)$$

$$+ \left[\frac{\partial Q}{\partial \lambda_T} + \frac{\partial K_T}{\partial \lambda_T} U \right] \delta \lambda_T + \frac{\partial Q}{\partial \lambda_V} \delta \lambda_V + \frac{\partial Q}{\partial \lambda_s} \delta \lambda_s + \frac{\partial Q}{\partial \lambda_v} \delta \lambda_v$$

относительно приращения δU . Необходимым и достаточным условием существования и единственности конечноэлементного решения нелинейной задачи термоупругости при уровне нагружения $\tilde{\lambda}_\epsilon, \dots, \tilde{\lambda}_v$ является положительность матрицы Якоби $[J_{ij}] = [\partial f_i / \partial U_j]$ системы (I) в многомерной области нагружения: $\exists (0 \leq \lambda_\epsilon \leq \tilde{\lambda}_\epsilon, \dots, 0 \leq \lambda_v \leq \tilde{\lambda}_v) \det J(U) > 0$. Из соотношений (2), (3) следует возможность исследования на единой алгоритмической основе как напряженного состояния, так и устойчивости с использованием комбинации методов Ньютона и последовательных нагружений. При монотонной зависимости вектора решения от параметра нагружения возможно изучение закритического поведения без применения методов продолжения по параметру.

Для решения линеаризованной задачи устойчивости рассмотрены линейное и геометрически нелинейное начальные состояния. В первом случае, в результате применения дискретного аналога энергетического критерия устойчивости и представления решения для отклоненного состояния в рядах Фурье задача сводится к алгебраической проблеме на собственные значения: $[K_L + \lambda \tilde{G}(U)] \tilde{U} = 0$. Во втором — решается последовательность задач нахождения нуля определителя $\det [K_L + \tilde{G}(U_m)]$ (здесь (\circ) означает принадлежность начальному состоянию, $(*)$ — отклоненному; \tilde{G} — геометрическая матрица жесткости, \tilde{U}_m — решение задачи (I) при m — том уровне нагрузок).

На основе анализа изменяемости решения и анизотропии механических свойств материалов оболочечных конструкций вырабатаны рекомендации по построению рациональных, устойчивых к вычислительным погрешностям сеток конечных элементов.

На рис. I представлена зависимость меридионального усилия от температуры равномерного нагрева с учетом закритической области жестко заделанной по торцам двухслойной перекрестно армированной ($\gamma = \pm 30^\circ$) цилиндрической оболочки ($H = 4$ мм; $R = 1000$ мм; $L = 200$ мм; $E_a/E_m = 36,3$;

$$\nu_a = 0,2 ; \quad \nu_m = 0,39 ; \quad \alpha_a = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} ;$$

$\alpha_m = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Определено критическое значение температуры $t_* = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$. На рис.2 даны распределения напряжений по толщине оболочки вблизи заделки ($\alpha_2 = 2 \text{ мм}$) при критическом значении температуры. Характерными являются сложные законы распределения напряжений поперечного сдвига.

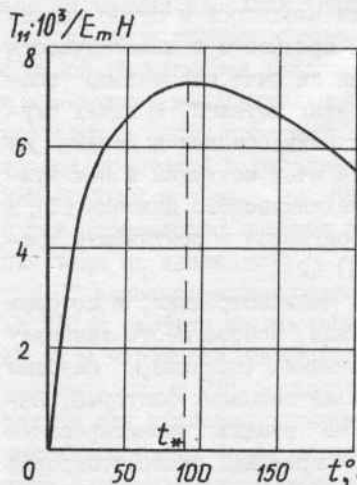


Рис.1

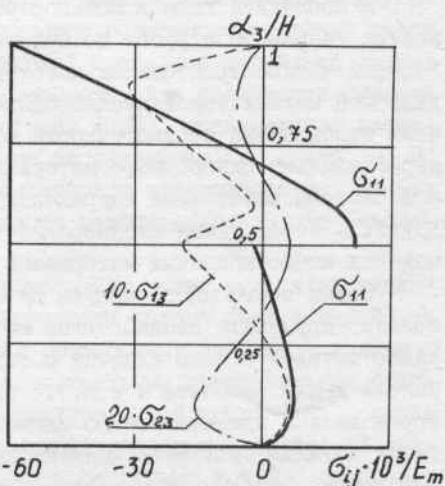


Рис.2

Л и т е р а т у р а

1. Григолюк Э.И., Носатенко П.А. Пространственная геометрически нелинейная задача термоупругости слоистых анизотропных оболочек вращения // Механика композитных материалов - 1988, № 4. - с. 684-690.

2. Григолюк Э.И., Носатенко П.А. О численном обосновании существования и единственности решения геометрически нелинейной задачи теории упругости // Доклады АН СССР - 1986, т. 289, № 4. - с.821-824.